BÚSQUEDA Y TRANSPORTE DE OBJETOS CON PLATAFORMAS BIONPIRADAS TIPO LEGO EN UN AMBIENTE CONOCIDO

Kristel Solange Novoa Roldán
Ingeniera en Control Electrónico e Instrumentación
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad Tecnológica.
Grupo de Investigación Robótica Móvil Autónoma- ROMA
Bogotá, Colombia
ksnovoar@udistrital.edu.co

Leidy Yolanda López Osorio
Tecnóloga en Electrónica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad Tecnológica.
Grupo de Investigación Robótica Móvil Autónoma- ROMA
Bogotá, Colombia
lylopezo@correo.edistrital.edu.co

Duvan Guillermo Benavides Benavides
Tecnólogo en Electrónica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad Tecnológica.
Grupo de Investigación Robótica Móvil Autónoma- ROMA.
Bogotá, Colombia
dgbenavidesb@correo.edistrital.edu.co

RESUMEN

En este artículo se muestra el diseño, desarrollo y resultados de un sistema que usa tres plataformas robóticas tipo LEGO® en un entorno controlado, las cuales están inspiradas en el comportamiento de las hormigas en cuanto a la búsqueda y transporte de alimentos; dos plataformas representan el papel de las obreras, que se encargan de la búsqueda y transporte del "alimento" hacia el "hormiguero", la tercera plataforma "la reina" llega al alimento después de ser recolectado. La parte mecánica de las plataformas se realiza con las fichas del kit de LEGO® MINDSTORMS®, mientras que el sistema de control y comunicación se implementa con un microcontrolador PIC® de Microchip y módulos XBEE soportados bajo el protocolo ZIGBEE® respectivamente. El proyecto busca fortalecer las líneas de investigación en robótica cooperativa y robótica bioinspirada del grupo de investigación de Robótica Móvil Autónoma ROMA de la Universidad Distrital.

Palabras clave: Robótica cooperativa; robótica bioinspirada; hormigas; LEGO® MINDSTORMS®; ZIGBEE®.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, en la robótica, se está produciendo un gran desarrollo en el campo de los robots cooperativos; ya que algunos problemas son demasiado difíciles de resolver para un único robot, por lo cual se busca diseñar sistemas compuestos de varios robots capaces de resolver problemas conjuntamente, formando un sistema mas ágil e inteligente; para esto se ha hecho una combinación con la robótica bioinspirada, tomando las habilidades de los animales que trabajan en equipo, con el objetivo de imitar su comportamiento para la solución de problemas. En este caso particular se imita a las hormigas, las cuales se dividen las tareas y se comunican expeliendo feromonas con el fin de demarcar caminos e informar acerca de las fuentes de alimento.

2. MARCO DE REFERENCIA

Hormigas:
Las hormigas son insectos muy simples que viven en colonias con una organización social altamente estructurada. Gracias al trabajo cooperativo, pueden desarrollar tareas muy complejas como encontrar los caminos más cortos del hormiguero a los lugares del entorno donde existe comida, organizarse en patrullas multitudinarias para salir de caza o construir gigantescas estructuras de túneles para vivir cómodamente; la mayoría de las especies de hormigas tienen como

principal fuente sensorial la capacidad de rastreo de feromonas que han ido dejando ellas mismas, convergiendo en un camino entre la fuente de comida y el hormiguero.
Diferentes estudios realizados, han dejado patente la convergencia de dicho camino en función de la distancia de la comida al hormiguero y de La evaporación de las sustancias químicas incluidas en las feromonas. [1]

Robótica Cooperativa:
Algunos problemas son demasiado difíciles de resolver para un único robot: (empujar una caja, explorar un campo, etc.) La robótica cooperativa busca diseñar sistemas compuestos de varios robots capaces de resolver problemas conjuntamente. Los robots que forman parte de un sistema multi-robot son simples en términos de diseño y control, y menos costosos que los sistemas de un solo robot especializado. Los sistemas multi-robot están orientados a resolver problemas en los cuales la participación de un solo robot no es suficiente o resulta ser muy costosa, en términos de diseño y tiempo, como por ejemplo el transporte de objetos voluminosos, el manejo de material peligroso, la exploración y cobertura de terreno.
Existen varios tipos de robótica cooperativa, como:

a. Robots móviles que colaboran para realizar una tarea
b. Robots manipuladores que se coordinan
c. Esquemas competitivos (p. ej., persecución-evasión)
d. Colaboración entre robots y personas. [2]

LEGO® y sensores:
LEGO® MINDSTORMS® es una plataforma para el diseño y desarrollo de robots, que sigue la filosofía de la marca LEGO®, armar y construir todo tipo de objetos simplemente uniendo bloques interconectables.
El bloque central es un microcontrolador, al que se le ha añadido un "cáscara" de ladrillo con forma de LEGO®. La conexión de sensores y actuadores es muy sencilla, por simple presión en cualquiera de las puertas y en cualquier posición. Las piezas de LEGO® tienen múltiples formas y tamaños, lo que nos permite construir diversas estructuras, usando los bloques como "ladrillos" o "vigas".

Sensor De Contacto: Es el más sencillo de todos los sensores LEGO® (figura 1). El uso típico es como detector de colisiones o como detector de fin de carrera. Con el auxilio de algunos accesorios mecánicos, incluso puede usarse para detectar la ausencia de suelo bajo el robot. [3]



Figura 1. Sensor de contacto tipo LEGO®

Servo Motor Interactivo NXT: Este motor servo con sensor de rotación incorporado mide la velocidad exacta y la distancia (figura 2).

Cada motor tiene incorporado un sensor de rotación, esto le permite controlar los movimientos del robot con precisión.
El sensor de rotación da las medidas de la rotación del motor en grados o vueltas completas [precisión de + / - un grado].
Una rotación es igual a 360 grados, por lo que si se establece un motor de giro de 180 grados, su eje de salida va a hacer una media vuelta. [4]



Figura 2. Servo Motor Interactivo NXT

Sensor de Luz: El sensor de infrarrojos de corto alcance (figura 3) esta basado en un emisor de luz y un receptor, ambos apuntando en la misma dirección, y cuyo funcionamiento se basa en la capacidad de reflexión del objeto, y la detección del rayo reflectado por el receptor. [5]

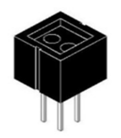


Figura 3. Sensor de luz CNY70.

En la tabla 1, se hace una comparación entre los sentidos que poseen las hormigas y los sensores utilizados para emularlos.

Tabla 1. Comparación entre sensores y sentidos de las hormigas.

HORMIGAS Y SENSORES		
SENSOR	**FUNCIÓN**	**HORMIGA**
Rotación	Cuantificación de pasos	Seguimiento de la concentración de feromonas
Contacto	Encontrar el obstáculo	Percepción sensorial
Luz	Reconocimiento del camino	Percepción sensorial

Zigbee®:
Es un protocolo de comunicaciones inalámbrico basado en el estándar de comunicaciones para redes inalámbricas IEEE_802.15.4. Creado por Zigbee® Alliance. Zigbee® permite que dispositivos electrónicos de bajo consumo puedan realizar sus comunicaciones inalámbricas, las cuales se realizan en la banda libre de 2.4GHz, a través de una única frecuencia, es decir, de un canal. El alcance

depende de la potencia de transmisión del dispositivo así como también del tipo de antenas, el alcance normal en línea vista es de aproximadamente 100m y en interiores de unos 30m. La velocidad de transmisión de datos de una red Zigbee® es de hasta 256 kbps.

El uso del protocolo Zigbee® va desde reemplazar un cable por una comunicación serial inalámbrica, hasta el desarrollo de configuraciones punto a punto, multipunto, peer-to-peer (todos los nodos conectados entre sí) o redes complejas de sensores. [6]

Se escogió el protocolo Zigbee®, que funciona sobre el modulo Xbee (Figura 4), por el bajo consumo de potencia, la topología (poder hacer conexiones en cascada) y además por su bajo costo.

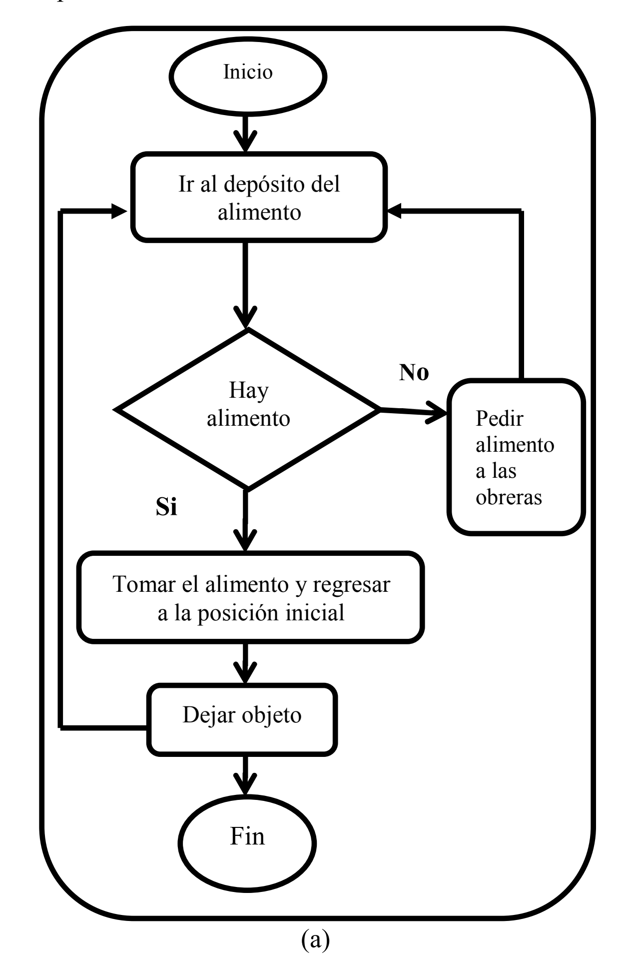


Figura 4. Módulo Xbee.

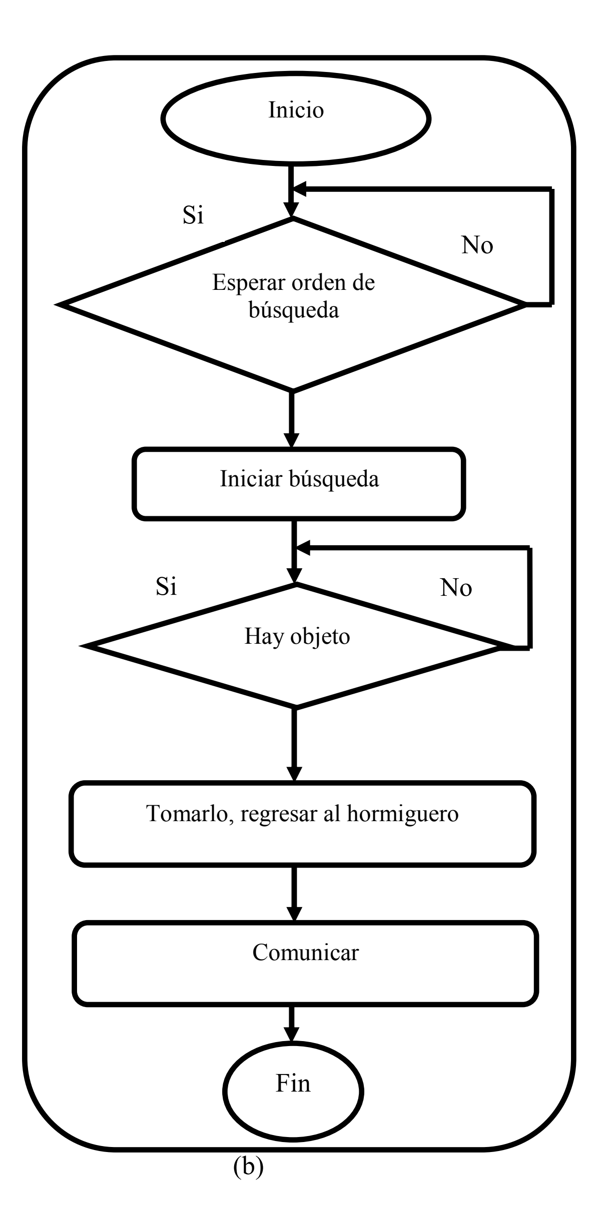
3. Desarrollo Del Proyecto

Diagrama de Flujo Hormiga Reina y Hormigas obreras:

En la figura 5 se muestra el comportamiento de las plataformas a través de diagramas de flujo. La diferencia entre las dos plataformas se basa en que la reina (figura 5a) solamente toma el alimento del depósito, y las obreras (figura 5b) deben buscar, y transportar el alimento hacia el depósito.



(a)



(b)

Figura 5. Diagrama de flujo. (a) Plataforma reina; (b) Plataforma obrera

Construcción de las plataformas:

Reina: Se construyo la estructura de la plataforma reina (figura 6) dentro del sistema de la colonia de hormigas así*:*

Dimensiones: 14.5 cm de ancho, 8.0 cm de alto y 21.0 cm de largo.

Motores: Se colocaron 3 motores en el prototipo, dos de ellos controlan el desplazamiento del prototipo y el tercero mueve la pinza que sujeta el objeto.

Sensor de contacto: El sensor de contacto detecta la presencia de un objeto; se detienen los motores del movimiento y se activa el motor de la pinza.

Sensor de luz: El sensor de luz hace seguir la plataforma por el camino trazado con una línea.

Zigbee®: El modulo de la plataforma reina envía un comando de orden a las plataformas obreras para que inicien la búsqueda del alimento.

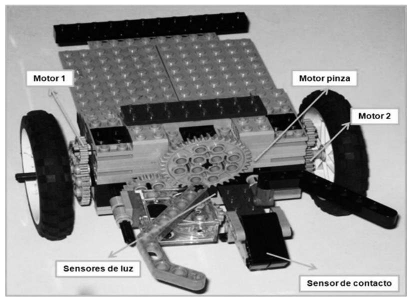


Figura 6. Plataforma física de la hormiga reina.

Obreras: La plataforma de las obreras (figura 7) consta de las siguientes partes:

Dimensiones: 15.8 cm de ancho, 8.5 cm de alto y 23.5 cm de largo.
Motores: El prototipo usa tres motores, dos de ellos son servos los cuales controlan el desplazamiento y la posición del prototipo a través del encoder de estos; el tercero mueve la pinza para sujetar el objeto.
Sensor de contacto: El sensor de contacto detecta la presencia de un objeto de acuerdo a este (obstáculo o alimento) la plataforma toma una decisión.
Zigbee®: El modulo de las obreras envía un comando a la plataforma reina cuando de haya dejado el objeto en el deposito del entorno; también se envía la información del encoder para el seguimiento de la ruta.

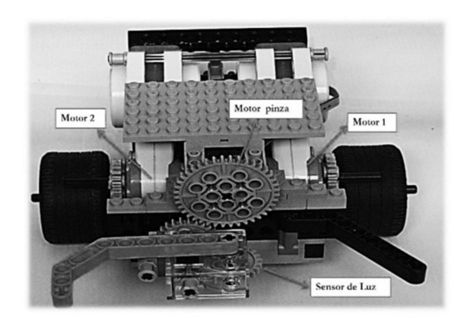


Figura 7. Plataforma física de la hormiga obrera.

Entorno y Objetos: El espacio en el que se mueven las plataformas (figura 8) está hecho en banner, el cual está dividido en hormiguero y exterior en donde estan la reina y las obreras respectivamente.
Dentro del hormiguero se trazó una trayectoria, que representa el camino conocido que recorre la reina hacia el alimento. En el exterior no hay camino ya que en él las obreras buscan los objetos, para llevarlos al depósito.

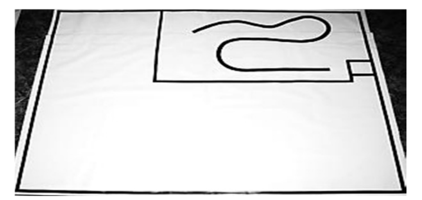


Figura 8. Entorno

Los objetos que son tomados por las plataformas están construidos con icopor de alta densidad (figura 9), sus dimensiones son 7 de ancho, 7 de alto, y 7.5 cm de espesor, en su base poseen trozos de cinta adhesiva para evitar que se deslicen en el entorno.

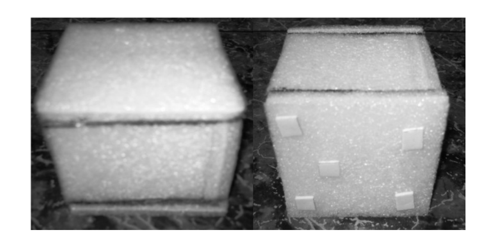


Figura 9. Objeto

4. PRUEBAS

Prueba de luz:

Las variaciones de luminosidad en diferentes escenarios, afectan la respuesta de los sensores de luz utilizados, por esto se colocó un potenciómetro para variar los valores de resistencia y poder ajustarlos a dichos cambios; los cuales se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Variaciones De Resistencia Respecto A La Luminosidad

TIPO DE LUZ	RESISTENCIA (Ω)
Ambiente	6780
Fluorescente	6700
incandescente	6780
Poca luz	6920

Prueba de tiempo:

Se tomaron los tiempos que tardan las plataformas obreras en encontrar, tomar y regresar con el objeto al deposito como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Relación Distancia – Tiempo De Las Obreras

Distancia al objeto (cm)	Tiempo Obrera 1 (s)	Tiempo Obrera 2 (s)
58	15.25	14.55
188	63	60
250	87	85
320	112	107

Prueba de Cooperatividad:
Se tomó el tiempo que demora una sola obrera en hacer la búsqueda y transporte de los objetos, y se comparó con el tiempo que tardan en hacerlo las dos obreras y se registraron los resultados en la tabla 4.

Tabla 4. Comparación Sistema Con Un Único Robot Y Sistema Con Robots Cooperativos

Número de objetos*	Tiempo una obrera (s)	Tiempo dos obreras (s)
1	15.25	15.25
2	78.25	68.75
3	165.25	109.37
4	277.25	169.38

* Objetos ubicados a las distancias de la tabla 3

5. RESULTADOS

1. En el caso de los sensores de luz usados en la plataforma reina, fue necesario adaptarlos para poder realizar un ajuste a las condiciones de luz del ambiente, esto se realiza por medio de un potenciómetro que es ajustado en el momento de iniciar los recorridos y teniendo en cuenta la luz existente en el momento.

2. Las plataformas obreras siguen una trayectoria ondulada, con el propósito de hacer un barrido completo del área de búsqueda; además dicha ruta permite memorizar el camino haciendo un conteo de las vueltas que se dan.

3. El camino que sigue la plataforma reina posee curvas suaves, ya que por su construcción física (fichas LEGO®), los cambios bruscos en la trayectoria, ocasionaba que perdiera la ruta.

4. Para la ruta que sigue la plataforma reina a través del hormiguero fue necesario colocar un fondo adicional de cartulina blanca, esto debido a que el brillo del entorno provocaba errores en la respuesta de los sensores de luz.

5. El exterior y el hormiguero en el entorno fueron rodeados con cinta negra para delimitar la zona de búsqueda de los objetos y así asegurar que las obreras no se salgan del ambiente controlado.

6. Se construyeron objetos en forma de cubos para asegurar la posición de este en el depósito y garantizar que tanto la plataforma reina como las obreras los tomaran.

7. Para tener mejor direccionamiento y exactitud en los giros se cambio la tracción tipo oruga por ruedas y se agregó una rueda castor (rueda loca), ya que el sistema anterior presento errores en la odometría y la precisión del giro debidos al deslizamiento.

8. En cuanto a la comunicación se implementó una red punto a multipunto con lo cual se envía la información a todas las plataformas a la vez, lo que hizo necesario que cada una la seleccionara de acuerdo a su función en la colonia. Esta comunicación se hace entre obreras para dar a conocer el camino y entre la reina y las obreras para indicar que hay objeto en el depósito.

9. El tiempo que demora una plataforma en recolectar todos los objetos dispuestos en el entorno es mayor al tiempo que tardan las dos obreras en la misma tarea, con lo cual se visualiza mejor la aplicación de cooperación tanto en la naturaleza como en un proceso robótico cooperante.

6. CONCLUSIONES

Siguiendo las líneas de investigación del grupo de investigación ROMA, como la robótica móvil, cooperativa y bioinspirada; se eligió imitar el comportamiento de las hormigas, ya que son una de las clases de insectos que trabajan de forma cooperativa por su comunidad.

En el momento de implementar los sensores sobre las plataformas se evidencio que los cambios ambientales influyen sobre las mediciones, problema que pudo ser corregido por medio de un potenciómetro, pero también se identifico que de igual manera los sentidos de los animales deben acondicionarse a estos cambios ambientales corrigiendo el problema de manera natural.

Construir las plataformas robóticas con las piezas LEGO® facilitó el desarrollo de la parte mecánica del sistema; con el uso de piñones, ruedas, motores y demás acoples, dando lugar a un mayor enfoque a la parte del control electrónico.

Se uso módulos Xbee para la comunicación de las plataformas, por la economía, bajo consumo de potencia, y tasa de transferencia de datos; características que cumplieron con los requerimientos del sistema.

Trabajar de un entorno conocido facilitó el desarrollo del proyecto en la parte del posicionamiento de las plataformas obreras. Un mayor desarrollo de este proyecto se puede obtener implementando el sistema de búsqueda en un entorno desconocido.

AGRADECIMIENTOS

Al grupo de investigación en Robótica Móvil Autónoma (ROMA), a la Ing. Kristel Novoa Roldán y al Ing. Willson Infante Moreno; por su apoyo, asesoría y constante colaboración durante todo el desarrollo del proyecto.

7. REFERENCIAS

[1] Cordón, Oscar. Inteligencia artificial, desarrollo con hormigas. Imitar a las hormigas para resolver problemas empresariales. European Centre for Soft Computing de Mieres. Extraído el 26 de marzo de 2008 del sitio web: http://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:Dl8GhhOy7r4J:www.sectormatematica.cl/ciencias%2520naturales/Imitar%2520a%2520las%2520hormigas.doc+Imitar+a+las+hormigas+para+solucionar+problemas+empresariales. PP. 1,2.
Marzo de 2008

[2] De Santiago, Luis, Trabajo Cooperativo En Robots, SEMINARIO "Diseño y construcción de microrobots". Ingeniería de Telecomunicación. Extraído en febrero de 2010 del sitio web: http://147.83.169.176/documentacion_files/pdfs/TrabajoCooperativoEnRobots.pdf. PP. 1 2009

[3] Chan, Wesley, Sensores y Actuadores LEGO®, descripción, Extraído en septiembre de 2010 del sitio web: http://www.saladeteletipos.com/twiki/bin/viewfile/ProcesadorLego/InvestigacionLego?rev=1;filename=sensores.pdf
2010

[4] TheRobotShop, Servo Motor Interactivo NXT, Extraído en octubre de 2010 del sitio web: http://www.therobotshop.com/catalog/lego-nxt-interactive-servo-motor.html.
2010

[5] Salmerón, González, Sergio, LA LUZ Y LA ELECTRÓNICA, capitulo 5 LABORATORIO DE ELECTRÓNICA, INFRARROJOS, Componentes, Sensor CNY70, Extraído en septiembre de 2010 del sitio web: http://www.info-ab.uclm.es/labelec/solar/otros/infrarrojos/sensor_cny70.htm
2008

[6] Oyarce, Andrés. Guía del Usuario, Xbee Series 1, Documento Preliminar. Ingeniería MCI LTDA, sitio web oficial www.olimex.cl
2009

8. AUTORES

Ing. Kristel Solange Novoa Roldan
Especialista en Informática Industrial.
Ingeniera en Control Electrónico e Instrumentación, Docente asistente Universidad Distrital Fransico José de Caldas, Facultad Tecnológica.
Directora proyecto de investigación en el grupo de Investigación ROMA
ksnovoar@udistrital.edu.co

Tecnóloga Leidy Yolanda López Osorio
Tecnóloga en Electrónica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad Tecnológica.
Directora Semillero de Investigación en Robótica Móvil SIRO de la Universidad Distrital.
lylopezo@correo.edistrital.edu.co

Tecnólogo Duvan Guillermo Benavides Benavides
Tecnólogo en Electrónica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad Tecnológica.
Integrante del grupo de Investigación Robótica Móvil Autónoma- ROMA.
dgbenavidesb@correo.edistrital.edu.co